Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 669-685

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 685-669

مقاله علمی- پژوهشی

اثر آنتی‌اکسیدانی سلنیت سدیم میکروکپسوله شده به روش تبخیر حلال، در روغن سویا در طول مدت یکسال نگهداری

فروزان جلالی زند[1]- محمد گلی[2]*

تاریخ دریافت: 1398/06/15
تاریخ پذیرش: 1398/10/28

چکیده

در این تحقیق با کپسوله کردن، سلنیوم به‌عنوان ریزمغذی حیاتی و آنتی‌اکسیدان طبیعی جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی با آثار سوء شد. سلنیت سدیم با غلظت‌های (100، 300، 500، 700 و 900 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده) با ترکیبی از مواد دیواره شامل صمغ عربی (25، 26، 27، 28 و 29 درصد) و صمغ فارسی متناظر آن (5، 4، 3، 2 و 1 درصد) به روش تبخیر حلال پرداخته شد. دو فرمول بهینه شامل، بهینه یک و دو به‌ترتیب 390 پی‌پی‌ام و480 پی‌پی‌ام کپسول (معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم)، آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول (200 پی‌پی‌ام) و نمک سلنیت سدیم (8/6 پی‌پی‌ام) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شد. سپس اندیس پراکسید، اسیدیته، تیوباربیتوریک اسید، عدد آنیزیدین، عدد توتوکس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها در روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان در طول مدت زمان (صفر، 180 و 360 روز) با کمک نرم‌افزاز SPSS آنالیز شد. با حضور آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم کپسوله شده و آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول در روغن سویا، عدد پراکسید، اسیدیته، تیوباربیتوریک اسید، عدد آنیزیدین، عدد توتوکس کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش معنی‌دار یافت($P<0/05$). بر حسب تاثیرات مثبت آنتی‌اکسیدانی در روغن سویا ترتیب تیمارهای موثر و پیشنهادی این تحقیق شامل: بهینه 2> بهینه 1≤ آنتی‌اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول> نمک سلنیت سدیم> شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان گزارش شد. نتایج حاصل از این پژوهش می‌تواند استفاده از آنتی‌اکسیدان سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه 1و 2) به‌عنوان جایگزین آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول جهت افزایش ماندگاری روغن سویا را پیشنهاد نماید.

واژه‌های کلیدی: میکروکپسولاسیون، صمغ عربی، صمغ فارسی، سلنیت سدیم، فعالیت آنتی‌اکسیدانی، روغن سویا

مقدمه

امروزه غذاهای عملگرا نقش مهمی در زندگی روزمره انسان ایفا می‌نمایند. غذاهای عملگرا می‌توانند غذاهای طبیعی باشند یا غذایی باشد که ترکیبات سلامت‌بخش به آن افزوده شده و یا ترکیبات ساختمانی مضر از آن‌ها حذف شده باشد. برخی از ترکیبات مغذی نمی‌توانند به مدت چشم‌گیری در غذا باقی بمانند و اثر خود را از دست می‌دهند یا در اثر ترکیب با دیگر ترکیبات غذا باعث ایجاد اثرات نامطلوبی در غذا می‌شوند. انکپسولاسیون به‌عنوان یک تکنولوژی برای قرار دادن مواد جامد، مایع، گاز در کپسول‌های کوچک مطرح است. کپسول‌هایی که می‌توانند محتویات خود را به‌صورت کنترل شده و تحت شرایط خاصی آزاد کنند. این تکنولوژی با حفاظت مواد در برابر اکسیداسیون در طول مدت تولید و نگهداری از ایجاد عطر و طعم نامطلوب جلوگیری کرده و مانع از دست رفتن ارزش تغذیه‌ای و متابولیکی آن‌ها شده و زمان ماندگاری ترکیبات مغذی در غذا را بهبود می‌بخشد. اهداف اصلی کپسوله‌کردن محافظت از انواع ترکیبات فعال در برابر تبخیر، واکنش‌های شیمیایی یا مهاجرت به غذا، کنترل آزادسازی ترکیبات فعال بر اثر مرور زمان، حفاظت و پایداری مواد زیست‌فعال در طی فرآیند و انبارداری، جلوگیری از واکنش‌های نامطلوب با ترکیبات دیگر در محصول و مخفی کردن و پوشاندن طعم نامطلوب در طی عمل خوردن می‌باشد(Fang *et al*., 2010; Nedovic *et al*., 2011). روغن‌ها به‌عنوان یکی از با ارزش‌ترین ترکیبات غذایی، منابع غنی از انرژی و پیش‌سازهای مهمی در فرآیندهای متابولیکی بدن به حساب می‌آیند. علاوه بر نقش‌های بیولوژیکی و تغذیه‌ای، در فرآوری مواد غذایی، تعیین کیفیت و خواص ارگانولیپتیک فرآورده‌های غذایی نیز حائز اهمیت است و نقش مهمی در سلامت و ادامه حیات انسان داشته و در گروه مواد غذایی ضروری قرار می‌گیرند (Rahman *et al*., 2004). روغن‌ها را کنستانتره کالری می‌نامند زیرا نقش اساسی در متابولیسم بدن انسان دارند، به عنوان

1 و 2- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار، گروه علوم و صنایع غذایی، واحد اصفهان (خوراسگان)، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران
(* - نویسنده مسئول: Email: mgolifood@yahoo.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v17i1.82850

مثال انرژی حاصل از یک گرم چربی 9/2 کیلوکالری می باشد همچنین حاوی ویتامین‌های محلول در چربی (A، D، E، K) هستند. روغن‌های خوراکی حاوی مقادیر بالایی از اسیدهای چرب ضروری (به‌ویژه اسیدهای چرب چندغیراشباعی) هستند و بسیار مستعد اکسیداسیون می‌باشند (میرنظامی ضیابری، 1388). روغن سویا یکی از مهمترین روغن‌های گیاهی است که اهمیت آن به دلیل فراوانی، ارزانی، کیفیت خوب و بازده بالای آن می‌باشد. در این روغن به دلیل وجود مقادیر نسبتا زیاد اسیدهای چرب غیراشباع گامالینولنیک اسید($C_{18:3}$)، پایداری آن در برابر اکسیداسیون کم بوده و مستعد اکسیداسیون می‌باشد. اکسیداسیون لیپیدها از مهمترین دلایل فساد مواد غذایی به حساب می‌آیند که بر رنگ، طعم، بافت و ارزش تغذیه‌ای تاثیر می‌گذارد و موجب به خطر افتادن سلامت بشر و بروز بیماری‌هایی نظیر سرطان می‌گردند (Chan *et al*., 1993). به‌منظور پایداری روغن‌ها و چربی‌ها، آنتی‌اکسیدان‌ها استفاده گردید (Sanchez-Moreno, 1999). آنتی‌اکسیدان‌ها به ترکیباتی گفته می‌شود که از طریق خاتمه دادن به واکنش‌های زنجیره‌ای مرحله آغاز و یا انتشار در فرآیند اکسیداسیون قادر به ایجاد تاخیر، کند کردن و حتی توقف فرآیند اکسیداسیون می‌باشند (Lindenschmidt, 1986). این ترکیبات می‌توانند به نحو مطلوبی از تغییر رنگ و طعم مواد غذایی در نتیجه واکنش‌های اکسیداسیون جلوگیری کنند (Halliwell *et al*., 1995; Lin *et al*., 2003). آنتی‌اکسیدان‌ها به دو دسته سنتزی و طبیعی طبقه‌بندی می‌شوند (Veliglu, 1998). عموماً آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی با ساختار فنولیک (توکوفرول‌ها، فلاونوئیدها و اسیدهای فنولیک)، ترکیبات نیتروژنی (آلکالوئیدها، مشتقات کلروفیل، اسیدهای آمینه و آمین‌ها) یا کارتنوئیدها می‌باشند. آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی مانند ترشیاری بوتیل هیدروکینون (TBHQ)، بوتیل هیدروکسی آنیزول (BHA)، بوتیل هیدروکسی تولوئن (BHT) و استرهای گالات در صنعت به طور معمول استفاده می‌شوند(Namiki, 1990). با توجه به نگرانی‌هایی که راجع به اثر سمیت‌زایی مربوط به آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی ابراز شده است استفاده از این آنتی‌اکسیدان‌ها در بسیاری از غذاها محدود شده است. جستجوی جایگزین‌های طبیعی برای آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی منجر به بررسی آنتی‌اکسیدان‌های متعددی از منابع دیگر شده است (Shahidi, 2005). سلنیوم یک ریزمغذی ضروری برای سلامتی انسان است و به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرسنتزی قوی است که نقش مهمی در واکنش‌های اکسیداسیون و احیای داخل سلولی ایفا می‌کند. سلنیوم از خاک جذب شده و از طریق گیاهان وارد زنجیره غذایی انسان و حیوان می‌شود (Rayman, 2000). سلنیوم جزء تشکیل‌دهنده سلنوپروتئین‌ها است که در بیوشیمی انسان نقش آنزیمی و ساختمانی دارند. سلنیوم به عنوان آنتی‌اکسیدان و کاتالیزور برای تولید هورمون تیروئید فعال شناخته شده است (Kohrle, 2005). این عنصر برای عملکرد صحیح سیستم ایمنی، جلوگیری از پیشرفت ایدز و بی اثر کردن سموم بدن نقش کلیدی دارد (Mustacich and Powis, 2000). شواهدی موجود است مبنی بر این که کمبود سلنیوم ممکن است در ایجاد بیماری‌های قلبی، کم‌کاری تیروئید و ضعف سیستم ایمنی نقش داشته باشد (Combs, 2005). با توجه به آثار سلامتی بخش سلنیوم، غنی سازی رژیم غذایی با این عنصر به‌منظور تامین نیاز تغذیه‌ای انسان به آن حیاتی است.

روغن‌ها نقش بسیار مهمی در تغذیه و سلامتی ایفا می‌کنند اما این مواد با گذشت زمان و به ویژه تحت شرایط نامطلوب نگهداری اکسید می‌شوند در نتیجه ارزش تغذیه‌ای آن‌ها کاهش یافته و مخاطراتی را برای سلامت مصرف کنندگان به وجود می‌آورند.از جمله روغن‌های مستعد اکسایش روغن سویا است که به دلیل وجود مقدار نسبتا زیاد اسیدهای چرب غیر اشباع در این روغن، پایداری آن در برابر اکسایش کم می‌باشد لذا استفاده از ترکیبات آنتی‌اکسیدانی در آن ضروری به نظر می‌رسد. امروزه با توجه به اثبات اثرات نامطلوب آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی نظیر بوتیل هیدروکسی آنیزول، بوتیل هیدروکسی تولوئن و ترشیاری بوتیل هیدروکینون بر سلامتی انسان و نیز به دلیل تمایل روز افزون مصرف‌کنندگان به مصرف ترکیبات طبیعی، تلاش برای جایگزینی نگهدارنده‌های سنتزی با انواع غیرسنتزی رو به افزایش است. با توجه به این که سلنیوم یکی از منابع زیر مغذی و آنتی‌اکسیدان‌های طبیعی به شمار می‌رود و خواص ضداکسیدانی، ضدسرطانی و درمانی دارد از این رو می‌توان با کپسوله کردن سلنیوم به‌منظور حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی، محافظت بالا و افزایش بازده اثرگذاری به‌عنوان جایگزین آنتی‌اکسیدان‌های سنتزی و حذف آن‌ها در صنعت غذا استفاده نمود.

در این تحقیق به بررسی میکروکپسولاسیون سلنیت سدیم با ترکیبی از مواد دیواره شامل صمغ عربی و صمغ فارسی متناظر با آن به روش تبخیر حلال پرداخته شد. سپس بهینه یک و دو، آنتی‌اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول و نمک سلنیت سدیم به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند واز نظر شاخص‌های اکسایش مورد بررسی قرار گرفتند.

مواد و روش‌ها

به‌منظور انجام پژوهش، اسیداستیک گلایسیال، الکل اتیلیک، پاراآنیزیدین، تیوسولفات‌سدیم، پتاسیم یدید، سدیم‌هیدروکسید، فنل‌فتالئین، کلروفرم، نشاسته، هگزان و هیدروکلریک اسید (مرک، آلمان)، بوتیل هیدروکسی‌آنیزول (تیراچرم، آلمان)، اسیدتیوباربیتوریک اسید (سروا، آمریکا)، سلنیت سدیم و توئین 80 (سیگما، آمریکا) و صمغ فارسی (باریج اسانس، ایران) تهیه گردید. روغن سویا نیز از کارخانه طارم زنجان (ایران) خریداری شد.

جهت انجام این پژوهش میکروکپسول‌ها از طریق حل کردن

ترکیب صمغ عربی با نسبت‌های (25، 26، 27، 28 و 29 درصد) و صمغ فارسی با نسبت‌های (1، 2، 3، 4 و 5 درصد) در10 سی‌سی آب مقطر 60 درجه سانتی‌گراد به‌دست آمدند. سپس به‌منظور هیدراته‌سازی مجدد به مدت 12 ساعت در یخچال با دمای 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد. سلنیت سدیم با نسبت‌های (100، 300، 500، 700 و 900 میلی‌گرم) در 10 سی‌سی آب مقطر حل شدند و به محلول ترکیبی مجددا هیدراته شده، اضافه شدند. ترکیب فوق در 4 درجه سانتی‌گراد نگهداری شد، سپس تحت تاثیر حمام اولتراسونیک در همین دما به مدت 18 دقیقه با فرکانس 50 هرتز قرار گرفت. این ترکیب سپس با اسپری با فشار 2 بار به الکل سرد (اتانول 96%) که توسط مگنت با سرعت 500 rpm در حال چرخش بود، اسپری شد. ترکیب به مدت 5 دقیقه رهاسازی شد. سپس فیلتراسیون تحت خلاء توسط کاغذ واتمن صورت گرفت. به منظور تبخیر کامل الکل باقی مانده در میکروکپسول‌ها و خشک شدن کامل آن‌ها باید تحت دمای پایین قرار می‌گرفتند، بدین منظور مواد باقی مانده درون یک پتری دیش پخش شدند و درون دسیکاتور قرار داده شدند و به مدت 12 تا 14 ساعت در یخچال 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. سپس میکروکپسول‌های حاصله توسط هاون آسیاب شد و در ظرفی در دمای اتاق نگهداری شدند. (گوبتا و همکاران، 2015). پس از تهیه میکروکپسول‌ها، کارایی کپسولاسیون و آنالیز اندازه ذرات میکروکپسول‌ها مشخص گردید. سپس با کمک نرم‌افزار RSM، بهینه‌سازی براساس بالاترین راندمان کپسولاسیون و پایین‌ترین اندازه ذرات، صورت گرفت. میکروکپسول‌های سلنیت‌سدیم با دو فرمول بهینه، شامل بهینه یک (صمغ عربی 27 درصد و صمغ فارسی 3 درصد، سلنیت سدیم 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر) و بهینه دو (صمغ عربی 28 درصد و صمغ فارسی 2 درصد، سلنیت سدیم 109 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر) با در نظر گرفتن حد مجاز سلنیوم به‌ترتیب مقدار 390 پی‌پی‌ام و 480 پی‌پی‌ام (حاوی 8/6 پی‌پی‌ام سلنیوم)، آنتی‌اکسیدان سنتزی BHA (200 پی‌پی‌ام) و نمک سلنیت‌سدیم (8/6 پی‌پی‌ام) به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان اضافه شدند و در دمای 55 درجه سلیسیوس، در مدت زمان (صفر و 23 و 46 روز) که معادل دمای 20 درجه سلیسیوس (صفر، 180 و 360 روز) بود، قرار گرفتند. آزمون‌های شیمیایی اندیس پراکسید، اسیدیته، TBA، آنیزیدین، توتوکس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی آن‌ها با روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان مقایسه شد. لذا به‌منظور جلوگیری از ته‌نشین شدن میکروکپسول‌ها در روغن، از توئین80 استفاده شد. به این منظور 390 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 1 به همراه 185 پی‌پی‌ام توبین 80 و مقدار 480 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 2 به همراه 235 پی‌پی‌ام توبین 80 به مقدار کمی روغن افزوده و به مدت 5 دقیقه روی شیکر قرار گرفته و سپس به کل روغن اضافه شدند.

آزمون‌های فیزیکی

میکروکپسول‌های پودر شده حاصله تحت انجام تست‌های فیزیکی قرار گرفتند که شامل راندمان کپسولاسیون (کارایی)، اندازه ذرات و ساختار خارجی میکروکپسول‌ها بودند.

تخمین محتوای سلنیوم

محتوای سلنیوم میکروکپسول‌ها با استفاده از اسپکتروفتومتر جذبی-اتمی (AAS) (A Analyst 800, Perkin Elmer , USA) و از طریق روش AOAC (2005) در طول موج 196 نانومتر، تخمین زده شد به این صورت که میکروکپسول‌ها در معرض دمای 650 درجه سانتی‌گراد به مدت 8 ساعت قرار گرفتند و خاکستر شدند. به خاکستر حاصله اسیدکلریدریک 6 نرمال افزوده و به‌منظور انحلال کامل روی هیتر گرما داده شدند. نمونه‌ها برای آنالیز به‌طور مناسبی توسط AAS با طول موج بیشینه 248/3 نانومتر حل شد (گوبتا و همکاران، 2015).

کارآیی کپسول‌سازی (EE)

در طول تهیه، میکروکپسول‌های سلنیوم از طریق فیلتراسیون از الکل جدا شدند. فرض شده است که سلنیوم در مواد باقی مانده به صورت کپسول یا گوی حضور دارد. سلنیوم کپسول‌سازی نشده در مواد فیلتر شده نیز حضور دارد. مواد باقی مانده تحت شرایط یخچالی (دمای 4 تا 7 درجه سانتی‌گراد) به مدت 12 تا 14 ساعت خشک شد. سلنیوم کپسول‌سازی شده در مواد باقی مانده با استفاده از AAS تخمین زده شدند. محتوای سلنیوم که در ابتدا برای تهیه میکروکپسول‌های سلنیوم اضافه شد به عنوان محتوای کل سلنیوم در نظر گرفته شد و سلنیوم کپسول شده در مواد باقی مانده تخمین زده شد. ماده فیلتر شده حاوی مقادیر قابل توجهی الکل فرار بود که کار اندازه‌گیری حجمی و ثقلی را مشکل کرد، بنابراین سلنیوم کپسول شده در مواده باقی مانده اندازه‌گیری شد. EE از طریق فرمول زیر اندازه‌گیری شد:

$$\text{EE} = \frac{\text{Bound } Selenium}{\text{Total } Selenium} \times 100 \qquad (1)$$

اسکن میکروسکوپ الکترونی

ساختار خارجی میکروکپسول‌های پودر شده از طریق اسکن میکروسکوپ الکترونی مورد بررسی قرار گرفت. میکروکپسول‌ها بر روی استوبِ اسکن میکروسکوپ الکترونی با استفاده از یک چسب دو لایه محکم شدند. نمونه‌های نصب شده با طلا (به ضخامت 20 نانومتر) پوشانده شدند (پوشش یونی) و به مدت 4 دقیقه در torr0/07-0/05 این پوشش یونی در 6 میلی‌آمپر نگه داشته شد. در نهایت نمونه‌ها از طریق اسکن میکروسکوپ الکترونی در یک ولتاژ 15 کیلوولت تحت شرایط خلاء بالا بررسی شدند و ریزنگارها ثبت شدند (گوبتا و همکاران، 2015).

آنالیز اندازه میکروکپسول‌های سلنیوم

میکروکپسول‌ها روی اسلایدهای شیشه‌ای قرار داده شدند و یک یا دو قطره آب مقطر برای پخش مناسب میکروکپسول‌ها بر روی اسلاید شیشه‌ایی بر روی آن‌ها چکانده شد. میکروکپسول‌ها توسط میکروسکوپ نوری (با بزرگ‌نمایی 400 برابر) مشاهده و با استفاده از یک دوربین دیجیتالی مناسب عکسبرداری شدند. اندازه میکروکپسول‌ها با استفاده از نرم افزار Nikon Basic Research Imaging inbuilt Software (v) 1/3) و میکروسکوپ تخمین زده شد (گوپتا و همکاران، 2015). سپس با استفاده از نتایج بدست آمده از آزمون‌های فیزیکی بهترین فرمولاسیون از طریق RSM به‌دست آمد و دو نمونه بهینه 1 و 2 انتخاب شدند.

با در نظر گرفتن حد مجاز مصرفی سلنیوم (55 میکرون نیاز روزانه) و سهم روغن مصرفی (یک قاشق غذاخوری برابر با 14 گرم یا 15 میلی‌لیتر)، مقدار سلنیوم خالص و پس از آن مقدار نمک سلنیت سدیم در یک کیلوگرم روغن محاسبه گردید. با استفاده از مقادیر حاصله میزان پودر کپسول‌های بهینه 1 و 2 تعیین شد. مقدار 390 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 1 به همراه 185 پی‌پی‌ام توپین 80 و مقدار 480 پی‌پی‌ام پودر کپسول بهینه 2 به همراه 235 پی‌پی‌ام توپین 80، 200 پی‌پی‌ام آنتی اکسیدان بوتیل هیدروکسی آنیزول و 6/8 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم، هر کدام جداگانه به روغن سویای تصفیه شده فاقد آنتی‌اکسیدان تهیه شده از کارخانه طارم زنجان با مشخصات شیمیایی اندازه‌گیری شده در روز صفر شامل (عدد پراکسید: 1 میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن، اسیدیته: 112/8 میلی‌گرم اولئیک اسید بر کیلوگرم روغن، عدد تیوباربیتوریک اسید: 0/0192 میلی‌گرم مالون آلدهید بر کیلوگرم روغن، عدد آنیزیدین: 3/7535، عدد توتوکس: 5/7535 میلی‌اکی‌والان اکسیژن بر کیلوگرم روغن و فعالیت آنتی‌اکسیدانی) افزوده شدند.

آزمون‌های شیمیایی روغن

عدد پراکسید به روش(Firestone, 1994)، آزمون تیوباربیتوریک اسید به روش ایگان و همکاران (1997)، اندیس آنیزیدین به روش Tompkins و همکاران (1999)، اندیس اسیدیته مطابق با استاندارد ملی ایران، شماره 4179، ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی به روش قنبری و همکاران (1385)، اندیس توتوکس به روش Wanasundara و Shahidi (2005) اندازه‌گیری شد.

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

در مرحله اول برای میکروکپسوله کردن از دو فاکتور A شامل غلظت صمغ عربی (25، 26، 27، 28، 29%) و صمغ فارسی متناظر آن به ترتیب (5، 4، 3، 2، 1%) و فاکتور B (80، 85، 90، 95، 100%) با استفاده شد. برای تحلیل نتایج 22 تیمار و انتخاب دو نمونه بهینه با کمک نرم‌افزار Design Expert طرح مرکب مرکزی با دوتکرار و α= 2 استفاده گردید. در مرحله دوم برای آزمون روغن، دو نمونه بهینه به همراه نمونه نمک سلنیت سدیم، نمونه دارای BHA ونمونه روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان در روزهای صفر، 23 و 46 نگهداری در دمای 55 درجه سانتی‌گراد با انجام آزمون‌های شیمیایی در 3 تکرار مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. برای این منظور از طرح کاملا تصادفی استفاده شد، سپس تحلیل نتایج با کمک نرم‌افزار SPSS و مقایسه میانگین‌ها با LSD در سطح احتمال 95 درصد ($p<0.05$) انجام و رسم نمودارها به کمک نرم‌افزار Excel صورت گرفت.

نتایج و بحث

تاثیر تغییرات صمغ عربی، صمغ فارسی و سلنیت سدیم بر کارایی و سایز میکروکپسول‌ها

پارامترهای اندازه‌گیری شده به‌منظور بهینه‌سازی میکروکپسول‌های سلنیت سدیم

در 22 تیمار اولیه مشخص شده به‌منظور تهیه بهترین فرمولاسیون، پارامترهایی از جمله کارایی میکروکپسول‌ها، شکل میکروکپسول‌ها و سایز میکروکپسول‌ها مورد آزمون قرار گرفت و نتایج آن در جدول گزارش شده است. نتایج نشان داد که میکروکپسول‌های تهیه شده با درصد صمغ عربی بیشتر (29 درصد) و صمغ فارسی کمتر(1 درصد) دارای راندمان بالاتری نسبت به میکروکپسول‌های با درصد صمغ عربی کمتر (25 درصد) و صمغ فارسی(5 درصد) بیشتر بودند. علت این امر می‌تواند مربوط به ویژگی‌های ساختاری و منحصر به فرد این دو صمغ باشد. علی، زیدا و بلوندن(2009) و سارکار و همکاران (2013) گزارش کردند که صمغ عربی، یکی از متداول‌ترین مواد دیواره استفاده شده در میکروکپسول‌سازی است زیرا دارای چسبناکی پایین، امولسیون‌سازی خوب، پایدارسازی بالا و تشکیل فیلم است. این صمغ دارای قابلیت بسیار خوب نگهداری مواد فرار و محافظت موثر در برابر اکسیداسیون است (گاباس، تلیس، سوبرال و تلیس، 2007؛ ریگتو و نتو، 2005). صمغ عربی دارای ساختار شاخه‌ایی پیچیده‌ایی است که باعث فشرده‌سازی هسته و در نتیجه افزایش کارایی کپسولاسیون می‌شود (Tombs & Harding, 1998). همچنین صمغ عربی به‌دلیل خاصیت امولسیون‌کنندگی، ویسکوزیته پایین و قابلیت ایجاد پایداری بالا می-تواند ماتریکس و ساختار قوی و محکمی را در اطراف هسته به وجود آورد (Madene *et al*., 2006; Mcnamee *et al*., 1998). صمغ عربی به‌عنوان ماده میکروکپسول‌سازی جهت بهبود کارایی کپسولاسیون و خصوصیات اتصالی به کار برده می‌شود(کارنیرو و همکاران، 2013). بنابراین می‌توان گفت با افزایش غلظت صمغ عربی، کارایی کپسولاسیون افزایش می‌یابد. صمغ فارسی در غلظت‌های بالا، ویسکوزیته ظاهری بالا از خود نشان می‌دهد. به‌طوری که ویسکوزیته

ظاهری در غلظت‌های کمتر از یک درصد ناچیز و در غلظت‌های بالاتر ویسکوزیته افزایش میابد به عبارت دیگر مولکول‌ها در محلول رقیق هیدروکلوئید به‌صورت آزادانه و مستقل، بدون درگیری با یکدیگر در حال حرکت و جابه‌جایی هستند. در حالی که در غلظت‌های بالاتر، تجمع مولکول‌ها و تعداد زیاد آن‌ها در واحد حجم باعث برخورد، درگیری و هم‌پوشانی آن‌ها با یکدیگر شده و همین امر باعث افزایش ویسکوزیته محلول می‌شود. (فرحناکی و همکاران، 1387). ویسکوزیته ظاهری صمغ فارسی در مقایسه با صمغ عربی در غلظت یکسان، بیشتر است (Whistler, 1993; Gilcksman, 1969). این اختلاف می‌تواند به دلیل تفاوت ساختار مولکولی صمغ‌ها باشد. به‌طوری که صمغ فارسی به علت شکل مولکولی خطی و خشک و غیرقابل انعطاف، حجم هیدرودینامیک بالایی دارد و سبب ایجاد ویسکوزیته بیشتر در این صمغ می‌شود (Vardanabhut *et al.*, 2006). همچنین ظرفیت جذب آب این صمغ زیاد است به طوری که منجر به تولید ژل یا محلول‌های با گرانروی بالا می‌شود (Simas *et al.*, 2010). بنابراین با توجه به موارد ذکر شده افزایش غلظت صمغ فارسی نسبت به صمغ عربی، باعث کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود.

جدول 1-نمایش مقادیر پاسخ‌های آزمون‌های کارایی و سایز

Arabic gum (%)	Farsi gum (%)	Na-selenite (mg/20cc)	EE (%)	Particle-size (µm)	Run
25	5	500	96/22	95	**10**
25	5	500	71	100	**14**
26	4	700	55	100/33	**4**
26	4	300	71/23	70	**9**
26	4	300	70	75	**11**
26	4	700	58	94/42	**13**
27	3	500	69/63	80	**2**
27	3	500	73	87/5	**5**
27	3	500	68/15	90	**6**
27	3	100	71/79	37/5	**8**
27	3	100	67/3	42/75	**15**
27	3	500	72	83/33	**16**
27	3	900	60	94/64	**18**
27	3	500	68	81/25	**19**
27	3	900	62	108	**20**
27	3	500	79	85	**22**
28	2	300	88/29	81/25	**1**
28	2	700	82/26	90	**3**
28	2	300	91	75	**7**
28	2	700	81	100	**12**
29	1	500	82/91	85/41	**17**
29	1	500	85	91/66	**21**

گوبتا و همکارانش (2015) میکروکپسول‌های آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال اصلاح شده تهیه کردند. پارامترهای پروسه برای تهیه ماکسیمم کارآیی کپسول‌سازی و پایداری میکروکپسول‌ها بهینه‌سازی شدند از ترکیب مختلف مواد دیواره برای تهیه میکروکپسول‌ها استفاده شد. از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت‌های 4:1:1، 1:4:1، 1:1:4، 2:2:2، 3:2:1، 3:1:2 استفاده شد و اثر آن بر کارایی ارزیابی گردید بالاترین کارآیی کپسول‌سازی (91/58 درصد) را نشان داد و مشخص شد که ترکیب دیواره 4:1:1 که دارای بالاترین میزان صمغ عربی بود، بالاترین کارایی را داشت و کارایی با کاهش

صمغ عربی کاهش یافت که با نتایج به‌دست آمده این پژوهش مطابقت داشت. کاناکدان و همکاران (2007) در طی پژوهشی مشاهده کردند ترکیب صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت 4:1:1 نتایج بهتری در مقایسه با صمغ عربی 100 درصد به‌دست داد. میکروکپسول‌های با صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت 1:4:1 و 1:1:4 بعد از اسپری الکل به‌صورت یک توده متراکم تهیه شدند، بنابراین، جداسازی از الکل بسیار مشکل شد زیرا آن‌ها خلل و فرج کاغذ صافی را مسدود کردند. این می‌تواند به دلیل ظرفیت نگهداری آب بالای این دو ماده دیواره باشد. میکروکپسول‌های ایجاد شده کارایی پایین‌تری در مقایسه با دیگر تیمارها نشان دادند، بنابراین نسبت‌های 0:6:0 و 0:0:6 صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده برای تهیه میکروکپسول‌های آهن به‌کار برده نشدند. آکدنیز وهمکاران (2017) به بررسی اثر مواد دیواره مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین با نسبت‌های 4:6، 2:8 و 0:10 و نسبت‌های مختلف هسته به دیواره 1:20 و 1:10 در کپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی پوسته پیاز پرداختند. بر اساس نتایج حاصله با افزایش نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین در دیواره میکروکپسول‌ها، کارایی کپسولاسیون افزایش یافت به طوری که بالاترین کارایی کپسولاسیون در نسبت 0:10 و کمترین کارایی در نسبت 4:6 مشاهده شد همچنین در رابطه با سایز میکروکپسول‌ها دریافتند که در نسبت 1:20 هسته به دیواره سایز میکروکپسول‌ها کوچکتر از نسبت 1:10 به‌دست آمد. فراسکارلی و همکارانش (2012) روغن قهوه را به روش خشک‌کن پاششی توسط صمغ عربی ریزپوشانی کردند. ریزپوشانی صمغ عربی را در نسبت‌های 10 تا 30 درصد بررسی شد و بهترین حالت ریزپوشانی نسبت 30 درصد، یعنی بالاترین حالت بود. از این پژوهش دریافتند که هر چه غلظت صمغ عربی(غلظت دیواره) افزایش یافت راندمان ریزپوشانی روغن قهوه نیز افزایش یافت. کلیک و همکاران (2012) به بررسی میکروانکپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی تفاله آلبالو ترش توسط نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) پرداختند. نتایج نشان داد که با افزایش غلظت صمغ عربی در دیواره کارایی کپسولاسیون افزایش یافت به طوری که نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین 0:10 بیشترین کارایی کپسولاسیون و نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین 4:6 کمترین کارایی را نشان دادند.

غلظت سلنیت سدیم به‌عنوان هسته حائز اهمیت است به طوری که میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم کمتر (100 تا 300 میلی‌گرم بر لیتر)، کارایی بالاتری نسبت به میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم بیشتر(700 تا 900 میلی‌گرم بر لیتر) داشتند. در کپسولاسیون باید نسبت وزنی هسته به دیواره متناسب باشد و در نسبت بالای هسته به دیواره، تعدادی از کپسول‌ها پاره و متلاشی می‌شوند (Yang, 2011; Nikolov, 2005; آهنگران و همکاران، 1394). پس می‌توان بیان کرد که در غلظت‌های بالای سلنیت سدیم، میکروکپسول‌ها پاره شده و هسته خارج شده و سبب کاهش کارایی کپسولاسیون گردیده است همچنین با افزایش غلظت هسته نسبت به ماده دیواره، ماده دیواره کافی برای کپسوله کردن و احاطه هسته وجود ندارد در نتیجه باعث کاهش تعداد کپسول‌ها شده و کارایی کپسولاسیون کاهش می‌یابد. (آکدنیز، 2017). در نسبت‌های بالای هسته به دیواره، برای هر ذره هسته توانایی محافظتی کمی وجود دارد که باعث کاهش کارایی کپسولاسیون می‌شود. (زیلبربویم و همکاران، 1986) بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که علت کاهش کارایی کپسولاسیون با افزایش غلظت سلنیت سدیم بوده است. نمونه بهینه 1 دارای راندمان79/63 درصد و نمونه بهینه 2 دارای راندمان 95/10 درصد بدست آمد.

گوپتا و همکاران (2015) مقادیر مختلف نمک آهن (300، 500، 800 و 1000 میلی‌گرم) برای تهیه میکروکپسول‌های آهن بکار برده شد و اثر آن بر کارایی ارزیابی شد. آهن حاوی 300 میلی‌گرم بالاترین کارایی را در مقایسه با دیگر میکروکپسول‌ها نشان دادند. کارایی به شدت با افزایش غلظت آهن کاهش پیدا کرد. آکدنیز و همکاران (2017) به بررسی اثر مواد دیواره در نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) و نسبت‌های مختلف هسته به ماده دیواره (1:20 و 10:1) در کپسولاسیون عصاره ترکیبات فنولی پوسته پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که به طور کلی در میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:20، کارایی بالاتر و در میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:10، کارایی پایین‌تر مشاهده شد. آهنگران و همکاران (1394) در فرآیند کپسوله کردن اپوکسی با پلی‌متیل‌متاکریلات مشاهده کردند که نسبت وزنی بالای هسته به ماده دیواره 6:1 ، تعدادی از کپسول‌ها پاره یا منقبض شده و کارایی کپسولاسیون کاهش یافت.

اندازه‌گیری سایز ذرات یکی از آزمون‌های با اهمیت برای میکروکپسوله کردن ترکیبات می‌باشد. نتایج نشان داد که میکروکپسول‌های تهیه شده با غلظت صمغ عربی بیشتر (29 درصد) و صمغ فارسی کمتر(1 درصد) سایز کوچکتری نسبت به میکروکپسول-های با درصد صمغ عربی کمتر (25 درصد) و صمغ فارسی(5 درصد) بیشتر داشتند. می‌توان بیان کرد که کاهش در سایز میکروکپسول‌ها با افزایش غلظت صمغ عربی در دیواره، به دلیل خصوصیات و ساختار پیچیده این صمغ می‌باشد که باعث فشرده‌سازی ترکیب کروی و ایجاد پایداری بالا می‌شود (تومبس و هاردینگ، 1998) که در این حالت با حداکثر توانایی، محافظت از ذرات در برابر تجمع و به هم چسبیدن را در طی فرآیند کپسولاسیون اعمال می‌نماید (فرحناکی و همکاران،1387) درصورتی‌که افزایش صمغ فارسی به علت خاصیت جذب آب بالای آن و قابلیت تشکیل ژل باعث متورم شدن آن و افزایش سایز میکروکپسول‌ها می‌شود. مقایسه سایز ذرات به دست آمده با مقالات دیگر به این صورت می‌باشد:

کلیک و همکاران (2012) به بررسی میکروانکپسوله کردن عصاره ترکیبات فنولی تفاله آلبالو ترش توسط نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش نسبت صمغ عربی به مالتودکسترین در دیواره، سایز کپسول‌ها کاهش یافت به‌طوری که نسبت 0:10 کمترین سایز و 6:4 بیشترین سایز کپسول را دارا بودند. خان محمدی و همکاران (2010) به مطالعه کپسوله کردن روغن سبوس برنج در نسبت‌های مختلف صمغ عربی و پروتئین آب پنیر و مقادیر مختلف روغن پرداختند .سایز قطرات امولسیونی در امولسیون‌های هموژنیزه شده با استفاده از دستگاه نانوسایزر اندازه گیری شد و اندازه قطرات امولسیون‌های حاضر در حد نانو بوده و کمترین آنها مربوط به صمغ عربی بود. همچنین در رابطه با اندازه‌های به‌دست آمده از پودرهای خشک‌کن پاششی و انجمادی بیانگر آن است که قطر میکروکپسول‌های به‌دست آمده از خشک‌کن انجمادی بزرگتر هستند و تا 60 میکرومتر می‌رسند و پودرهای خشک‌کن پاششی کوچک‌تر بوده و اندازه حدود4 تا 8 میکرومتر دارند. نشان داد که نوع و غلظت دیواره بر اندازه ذرات پودر مؤثر بوده و باعث ایجاد تغییرات معنی دار در اندازه پودرها شدند. گوبتا و همکاران (2015) به بررسی میکروانکپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال پرداختند و اندازه‌گیری ذرات با میکروسکوپ نوری وارونه انجام شد و سایز ذرات در طیف 6/84 تا 33/42 میکرومتر بود.

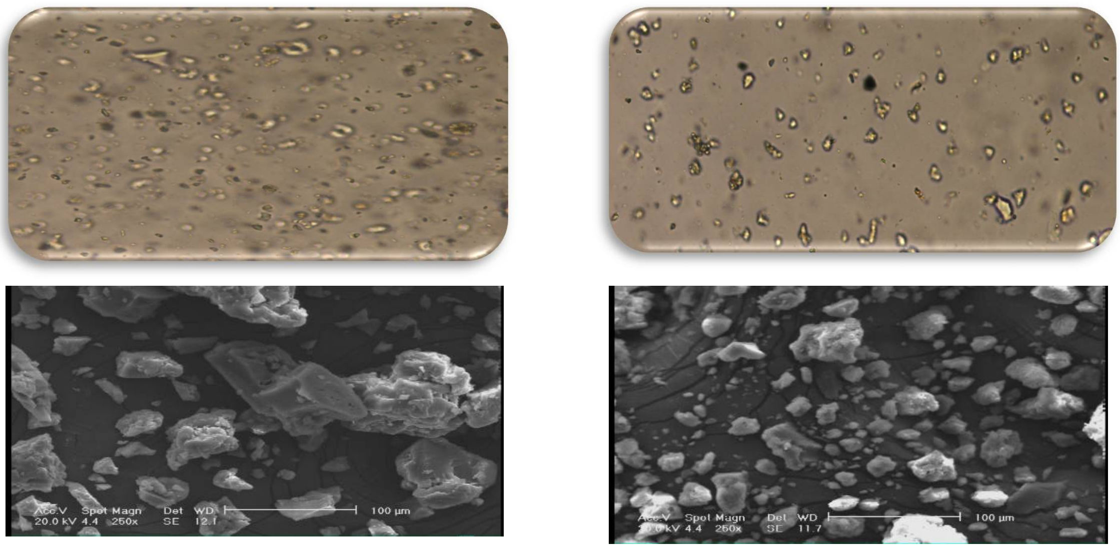
غلظت سلنیت سدیم به‌عنوان هسته حائز اهمیت است به‌طوری که میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم کمتر (100 میلی‌گرم بر لیتر)، سایز کوچکتری نسبت به میکروکپسول‌های با غلظت سلنیت سدیم بیشتر (900 میلی‌گرم بر لیتر) داشتند. زمانی که غلظت هسته افزایش یابد مواد دیواره برای احاطه کردن و پوشاندن هسته وجود نداشته در نتیجه باعث اتصال ذرات به یکدیگر و افزایش سایز میکروکپسول‌ها می‌گردد (آکدنیز و همکاران، 2017).

آکدنیز و همکاران (2017) به بررسی اثر مواد دیواره در نسبت‌های مختلف صمغ عربی به مالتودکسترین (0:10، 4:6 و 2:8) و نسبت‌های مختلف هسته به ماده دیواره (1:20 و 10:1) در کپسولاسیون عصاره ترکیبات فنولی پوسته پیاز پرداختند. نتایج نشان داد که به‌طور کلی میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:20، کمترین سایز کپسول (7 میکرومتر) و میکروکپسول با نسبت هسته به ماده دیواره 1:10، بزرگترین سایز کپسول (14 میکرومتر) را دارا می‌باشند. چویی و همکاران (2010) طی پژوهشی به بررسی انکپسولاسیون روغن ماهی پرداختند. در این پژوهش از بتاسیکلودکسترین و پلیکاپرولاکتون به‌عنوان ماده دیواره استفاده کردند. نتایج حاکی از آن بود که غلظت هسته تاثیر قابل توجهی در سایز ذرات داشت به طوری که با افزایش غلظت هسته، سایز میکروکپسول‌ها افزایش یافت. جعفرپور و همکاران (2016) بهینه‌سازی نانو ریزپوشانی اسیدهای چرب امگا-3 با استفاده از روش کوآسرواسیون مرکب با روش سطح پاسخ در قالب طرح مرکب مرکزی را انجام دادند، لذا نانو ذرات حاوی امگا- 3 توسط دیواره ژلاتین پوست ماهی قزل‌آلای رنگین کمان و صمغ عربی با استفاده از روش کواسرواسیون مرکب تولید شدند. این روش قابلیت منحصر به فرد جداسازی الکترواستاتیکی فازهای مایع مایع بر اساس تجمیع ماکرویون‌های با بار مخالف را دارد. تأثیر سه متغیر مستقل غلظت ژلاتین -ماهی، غلظت اسید چرب امگا- 3 و سرعت هموژنایزر بر متغییرهای وابسته از قبیل اندازه ذرات، میزان روغن سطحی، روغن کپسوله شده و کارآیی ریزپوشانی، بررسی شد. بر اساس نتایج به‌دست آمده سرعت هموژنایزر بیش‌ترین تأثیر را بر اندازه ذرات و اندازه داشت. همچنین تیمارهایی که در آن‌ها اسیدهای چرب امگا- 3 بیشتری استفاده شده، در مقایسه با تیمارهای با امگا- 3 کمتر، ازروغن سطحی نانو ذرات بیشتری برخوردارند به‌طوری که با افزایش غلظت هسته (اسید چرب امگا-3) از 10 درصد به 30 درصد افزایش سایز ذرات از 114/5 نانومتر به 617/4 نانومتر رسید. پودرهای تولید شده کارایی ریزپوشانی در حدود 69/74 الی 98/41 درصد دارند.

به‌طورکلی نتایج نشان داد که نمونه بهینه 2 که حاوی غلظت سلنیت سدیم کمتری بود، اندازه کوچکتری نسبت به نمونه بهینه 1 داشت. سایز ذرات برای بهینه یک، 49/98 و برای بهینه دو، 46/71 بود. با توجه به نتایج حاصل از مقالات و نتایج به دست آمده از این تحقیق دلیل تفاوت در سایز ذرات به نوع روش کپسولاسیون و نوع ماده پوشش‌دهنده و نسبت آن وابسته می‌باشد

مورفولوژی ظاهری میکروکپسول‌های سلنیت سدیم در هر دو نمونه بهینه یک ساختار نسبتا مدور با حداقل ترک‌ها را نشان داد. شکل مدور باعث به حداکثر رسیدن پایداری میکروکپسول‌ها می‌گردد زیرا در این حالت نسبت حجم به سطح به حداقل می‌رسد. (گوبتا و همکاران، 2015). آهنگرانی و همکاران (2016) طی تحقیقی به بررسی کپسوله کردن مواد با دیواره پلی‌متیل‌متاکریلات به روش تبخیر حلال پرداختند و شاهد کپسول‌های کروی با سطح نرم بودند. گوبتا و همکاران (2015) با کپسوله کردن آهن با ترکیبی از صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده با استفاده از روش تبخیر حلال ، میکروکپسول‌های آهن با ساختار نسبتا مدور با حداقل ترک‌ها را مشاهده کردند که این امر بستگی به سطح دارد. کاناکدان و همکاران (2007) ، کریشنان و همکاران (2005) و وایدیا و همکاران (2006)، میکروکپسول‌های تهیه شده از طریق روش خشک کردن پاششی را با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مشاهده کردند و دریافتند که صمغ عربی، مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده به نسبت 4:1:1 باعث تشکیل میکروکپسول‌های مدور با سطح نرم شد. میکروکپسول‌های تشکیل شده از صمغ عربی به تنهایی، تا حدی گوی مانند بودند اما دندانه‌های بسیاری بر روی سطح داشتند، درحالی که میکروکپسول‌های تشکیل شده از مالتودکسترین و نشاسته اصلاح شده تا حدی تخربی شده بودند. رضوی‌زاده و همکاران

(1393) ریزپوشانی روغن سبوس برنج با استفاده از صمغ عربی و کنسانتره پروتئینی آب پنیر به‌عنوان مواد دیواره به دو روش خشک کردن پاششی و انجمادی مورد بررسی قرار دادند. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از ریزکپسول‌های تهیه شده با دو روش خشک‌کن پاششی و خشک‌کن انجمادی نشان می‌دهند که با خشک‌کن پاششی پودرهایی با ساختار کروی به‌دست می‌آید در حالی که پودرهای حاصل از خشک‌کن انجمادی ساختاری شیشه‌ای شکل و نامنظم دارند. فراسکارلی و همکاران (2012) ریزپوشانی روغن قهوه به روش خشک‌کن پاششی توسط صمغ عربی را مورد بررسی قرار دادند و شاهد ریزکپسول‌های با ساختار کروی با سطح نرم را بودند. حسین‌زاده و همکاران (2016) انکپسولاسیون روغن نعناع به روش خشک‌کن پاششی را با ترکیب دیواره صمغ عربی و مالتودکسترین مورد بررسی قرار دادند و شاهد میکروکپسول‌هایی با ساختار کروی با سطح نرم با حداقل ترک بودند. از دلایل تفاوت در شکل میکروکپسول‌ها در کارهای مشابه، شاید به دلیل تفاوت در روش کپسوله‌کردن درتمامی این روش‌ها باشد، که روش خشک کردن انجمادی در مقایسه با خشک کردن پاششی باعث ایجاد اشکال نامنظم و بدون شکل خاصی می‌گردد ولی در خشک‌کردن پاششی اشکال کروی شکل می‌گیرد (فنگ و باهاندری، 2010). افخمی و همکاران (2017) بر این باورند که دلیل اختلاف در شکل‌های به وجود آمده در کارهای مشابه، اختلاف در فرمول کپسول‌ها بوده که باعث ایجاد اختلاف در ویسکوزیته و غلظت محلول و در نتیجه اختلاف در شکل میکروکپسول‌ها می‌شود.



بهینه یک   بهینه دو

شکل 1- تصاویر میکروسکوپ نوری (بالا) و میکروسکوپ الکترونی (پایین) برای نمونه بهینه یک و دو

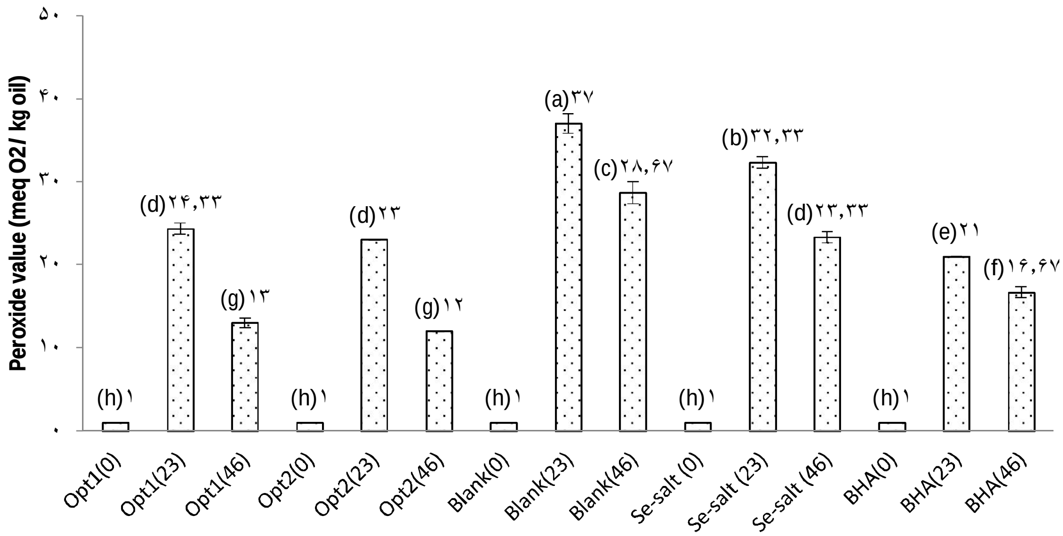
اثر متقابل تیمار در زمان بر ویژگی‌های کیفی روغن سویا

عدد پراکسید

تغییرات عدد پراکسید روغن سویا در تمامی تیمارها از روز صفر تا 23 روند افزایشی و از روز 23 تا 46 روند کاهشی در پی‌داشت (شکل 2). کمترین میزان عدد پراکسید در تمامی تیمارها مختص روز صفر بود که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. بالاترین میزان عدد پراکسید مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و پس از آن تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 23 بود که دو تیمار مذکور با یکدیگر اختلاف معنی‌دار داشتند. افزایش در مقدار پراکسید را می‌توان به تشکیل هیدروپراکسیدها یعنی محصولات اولیه تشکیل اکسیداسیون نسبت داد. همچنین کمترین میزان عدد پراکسید در روز 46 مربوط به تیمارهای Opt1، Opt2 و BHA در روز 46 بود که دو تیمار Opt1 و Opt2 اختلاف معنی‌دار نداشتند و اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر نسبت به تیمار BHA از خود نشان دادند همچنین میان Opt1 و Opt2 با BHA اختلاف معنی‌دار وجود داشت. بنابراین پس از اتمام دوره نگهداری دو تیمار سلنیت سدیم کپسوله شده 1 و 2 خواص آنتی‌اکسیدانی بهتر از تیمار حاوی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول داشته‌اند.

در طی پژوهشی عصاره متانولی کیک کنجد در غلظت‌های ۵،۱۰،۵۰ و 100 ppm و BHT و TBHQ در غلظت 200 ppm را به روغن سویای فاقد آنتی‌اکسیدان افزوده و در طی 15 روز در دمای 60 درجه سلسیوس، عدد پراکسید آن را مورد بررسی قرار دادند (سوجا و همکاران، 2004). نتایج نشان داد که اثر آنتی‌اکسیدانی تمام غلظت‌های عصاره بهتر از BHT عمل کرد ولی TBHQ تاثیر بهتری از خود نشان داد با مطالعه بر اثر ترکیبات فنولیک موجود در مواد طبیعی مختلف، اثر قابل توجه این مواد را بر ممانعت از اکسیداسیون روغن و کاهش عدد پراکسید در طول مدت انبارداری، نسبت به نمونه شاهد گزارش کرده‌اند

(سلطانا و همکاران،2007؛ لافکا و همکاران، 2007). خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رازیانه (150 ppm) و مقایسه آن با BHA (75 ppm)، BHT (75 ppm) و نسبت 1:1 BHA و BHT با اندازه‌گیری عدد پراکسید، آنیزیدین و توتوکس در روغن زیتون پرداخته شد. آن‌ها دریافتند خاصیت آنتی‌اکسیدانی عصاره رازیانه بهترین تاثیر را داشته و سبب تأخیر در تشکیل هیدروپراکسیدها و کاهش عدد پراکسید می‌گردد (چانگ و همکاران، 2018).



شکل 2- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان عدد پراکسید روغن سویا

تیمار Opt_1: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt_2: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na_2SeO_3) : نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

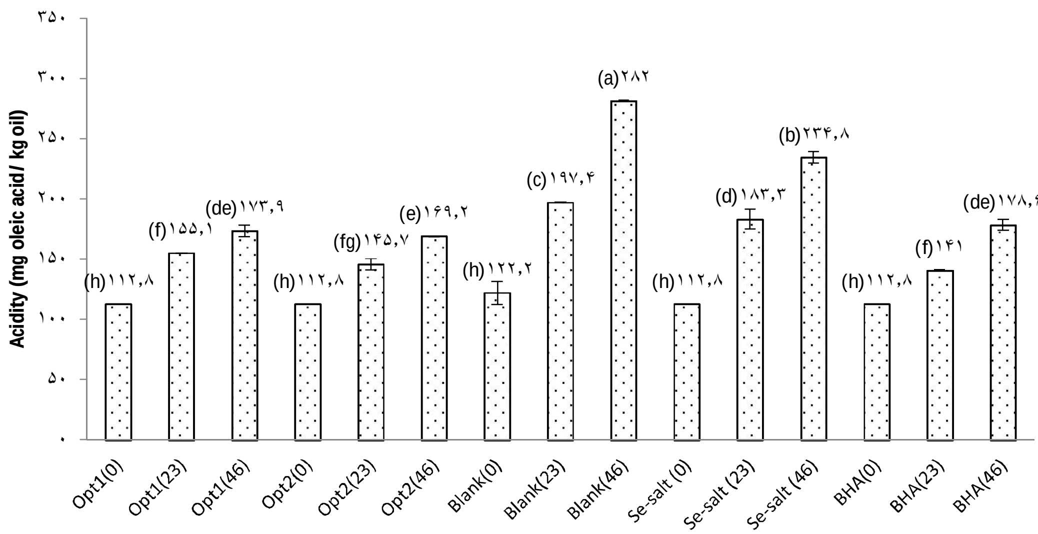
اسیدیته

نتایج شکل 3 نشان داد که تغییرات اسیدیته روغن سویا در تمامی تیمارها در طی مدت نگهداری روندی افزایشی داشت. کمترین میزان اسیدیته در تمامی تیمارها مربوط به روز صفر بود که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد($P>0.05$). بالاترین میزان اسیدیته مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و پس از آن تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 46 بود که میان دو تیمار مذکور اختلاف معنی‌دار وجود داشت($P<0.05$). کمترین مقادیر مربوط به اسیدیته در روز 46 مربوط به تیمارهای Opt1، Opt2 و BHA که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار وجود نداشت. تیمار Opt1 از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به‌خوبی توانست با BHA رقابت کند و حتی کمی بهتر عمل کرد ولی تیمار Opt2 اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر از خود نشان داد و در حفظ خصوصیات کیفی روغن نسبت به تیمارهای مذکور موثرتر بود. فدوی و کوهساری (1393) در طی پژوهشی خواص آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ سبز و سیاه شده پرتقال را بر اثر افزودن به روغن سویا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که اسیدیته تمامی تیمارها در مدت نگهداری افزایش می‌یابند و عصاره‌ها توانایی جلوگیری از افزایش اسیدیته را دارند و باعث می‌شوند که اسیدیته با سرعت کمتری بالا رود.

آزمون تیوباربیتوریک اسید

نتایج شکل 4 نشان داد که افزایش مداومی در میزان اندیس TBA روغن سویا با افزایش دوره نگهداری در شرایط اکسیداسیون برای همه تیمارها مشاهده شد، به‌طوری که در روزهای پایانی دوره نگهداری با سرعت بیشتری انجام گرفت و مقدار زیادی از پراکسیدهای تشکیل شده تجزیه و به مالون آلدهید تبدیل شدند. کمترین میزان اندیس TBA مربوط به تیمارهای Opt1 و Opt2، نمک سلنیت سدیم و BHA

در روز صفر بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند.



شکل 3- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان اسیدیته روغن سویا

تیمار Opt_1: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt_2: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na_2SeO_3) : نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

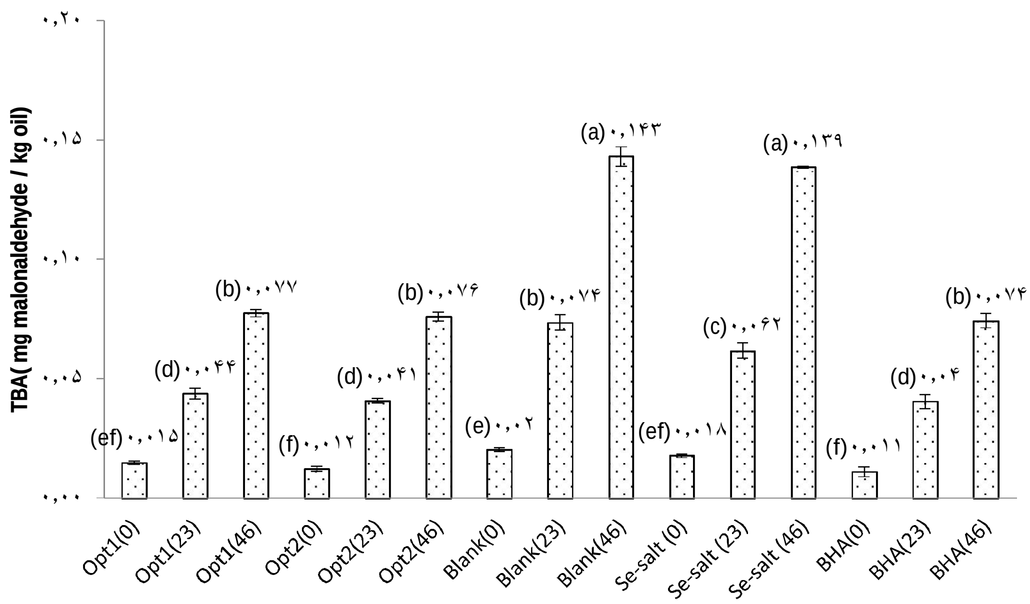
تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

بالاترین میزان TBA مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و پس از آن تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 46 بود که با یکدیگر اختلاف معنی‌دار نداشتند. کمترین میزان TBA در روز 46 مربوط به تیمار Opt1، Opt2 و BHA بود که میان تیمارهای مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد. بنابراین می‌توان گفت تیمارهای Opt1 و Opt2 از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی به‌خوبی توانستند با تیمار BHA رقابت کند و می‌توان از تیمارهای مذکور به‌عنوان جایگزین BHA استفاده نمود. شهسواری و همکاران (2008) در تحقیقی به بررسی خاصیت آنتی-اکسیدانی و ترکیب شیمیایی اسانس آویشن شیرازی و زیره‌کوهی و جلوگیری از اکسیداسیون روغن سویا به مدت 32 روز، با کنترل عدد پراکسید و تیوباربیتوریک اسید پرداختند. نتایج نشان داد که اسانس گیاهان دارای خاصیت آنتی‌اکسیدانی بالایی است که باعث کاهش فرآیند اکسیداسیون روغن سویای نگهداری شده در آون با دمای 60 درجه سانتی گراد شده است. اسانس زیره‌ی کوهی در غلظت 0/06 درصد و اسانس آویشن شیرازی در غلظت 1 درصد مشابه اثر بوتیل هیدروکسی آنیزول در غلظت0/02 درصد بود؛ از این رو می‌تواند به‌عنوان افزودنی در مواد غذایی استفاده شود.

آزمون آنیزیدین

نتایج شکل 5 نشان داد که تغییرات عدد آنیزیدین روغن سویا در تمامی تیمارها در طی مدت نگهداری روندی افزایشی داشتند که این افزایش نشان دهنده گسترش واکنش اکسایش خودبه‌خودی و همچنین افزایش محصولات ثانویه حاصل از تجزیه هیدروپراکسیدها و کربونیل‌ها با گذشت زمان می‌باشد. کمترین میزان اندیس آنیزیدین مربوط به تیمارهای Opt1 و Opt2 و BHA در روز صفر بود که سه تیمار مذکور اختلاف معنی‌داری نداشتند. بالاترین میزان آنیزیدین مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان و تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 46 بود که تیمارهای مذکوراختلاف معنی دار نداشتند. کمترین میزان اندیس آنیزیدین در روز 46 مربوط به تیمارOpt2 و BHA بود که میان دو تیمار مذکور اختلاف معنی‌دار مشاهده نشد و پس از این

دو، Opt1 قرار داشت.



شکل 4- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان تیوباربیتوریک اسید روغن سویا

تیمار Opt_1: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt_2: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na_2SeO_3) : نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

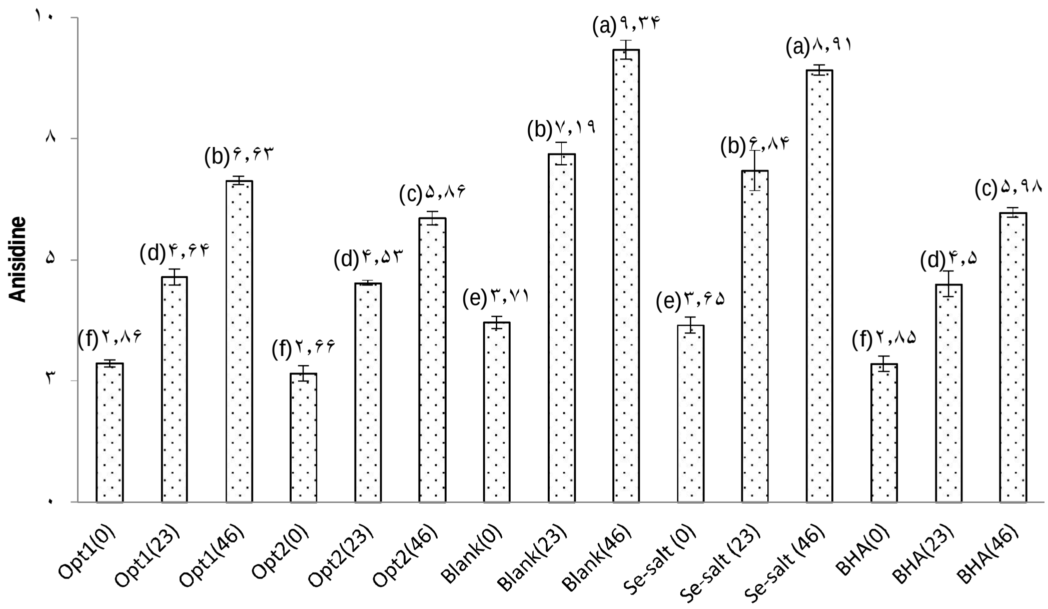
تیمارOpt2 در مقایسه با BHA اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر نشان داد و می‌تواند جایگزین مناسبی برای تیمار مذکور باشد.

اثر عصاره‌های متانولی چوب ذرت روی عدد آنیزیدین روغن ذرت تحت شرایط تشدید شده (21 دقیقه در ماکروویو) نشان داد که در نمونه کنترل تبدیل فرم کربونیل نسبت به بقیه نمونه‌ها بیشتر است. عصاره 1000 پی‌پی‌ام بهتر از بقیه عمل کرد و بعد BHT و عصاره 500 پی‌پی‌ام بهتر عمل کرد (Sultana, 2007). عدد آنیزیدین در طول 72 ساعت نگهداری نمونه‌های روغن حاوی عصاره متانولی کیک کنجد در دمای 70 درجه سانتی‌گراد به‌طور معنی‌دار افزایش یافت و این افزایش بعد از 32 ساعت شتاب بیشتری داشت(Mohdaly *et al.*, 2011).

آزمون توتوکس

نتایج شکل 6 نشان داد که تغییرات عدد توتوکس روغن سویا در تمامی تیمارها از روز صفر تا 23 روند افزایشی داشت و از روز23 تا 46 روند کاهشی را دارا بود. کمترین میزان عدد توتوکس درتمامی تیمارها مربوط به روز صفر بود که این تیمارها با یکدیگر اختلاف معنی‌داری نداشتند($P>0.05$). بالاترین میزان عدد توتوکس مربوط به تیمار شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان در روز 23 بود. کمترین میزان عدد توتوکس در روز 46، مربوط به Opt1 وOpt2 و BHA بود. Opt1 وOpt2 اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر نسبت به BHA از خود نشان دادند و در کاهش تولید محصولات اولیه و ثانویه اکسیداسیون و کاهش شدت اکسیداسیون موثرتر بودند و باعث حفظ کیفیت روغن سویا در برابر شرایط اکسیداسیون شده است. موجرلو و همکاران (2015) در طی پژوهشی با اتانول از کنجاله زیتون عصاره‌گیری کرده و ترکیبات فنولی کل موجود در عصاره را تعیین کردند. سپس اثرات آنتی‌اکسیدانی عصاره کنجاله زیتون در غلظت‌های مختلف (۰،۵۰،۱۰۰،۱۵۰،۲۰۰،۲۵۰،۳۰۰،۳۵۰،۴۰۰ ppm) و همچنین آنتی- اکسیدان‌های شیمیایی بوتیل‌هیدروکسی‌تولوئن (BHT) و بوتیل- هیدروکسی‌آنیزول (BHA) با غلظت 75 ppm، بر پایداری اکسایشی

روغن سویا در طول دوره نگهداری به مدت 4 هفته از طریق سنجش اندیس پراکسید، آنیزیدین، توتوکس و زمان مقاومت به اکسایش بررسی کردند.



شکل 5- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان آنیزیدین روغن سویا

تیمار Opt_1: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt_2: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na_2SeO_3) : نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

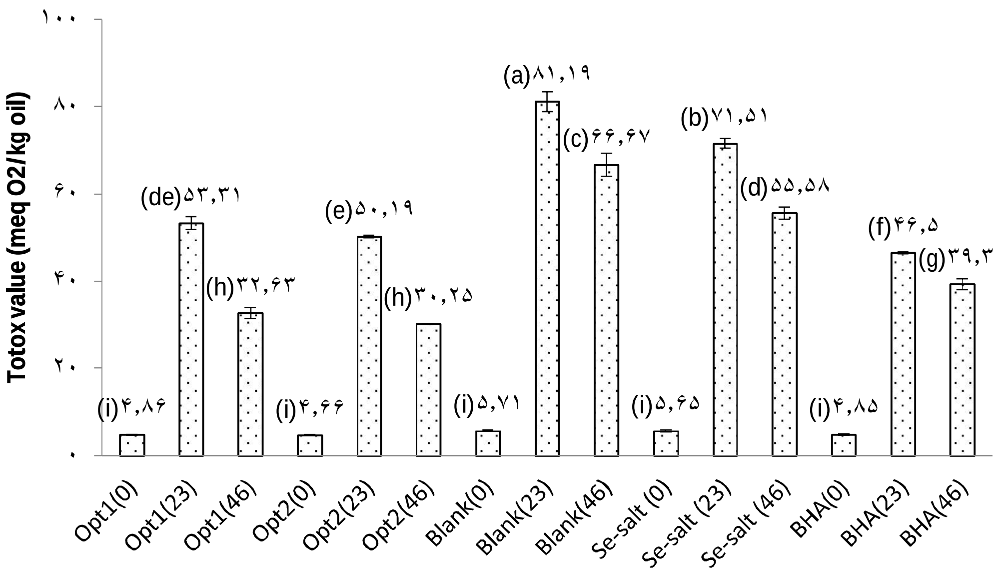
تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

نتایج حاکی از آن بود که در بین غلظت‌های تحت بررسی عصاره کنجاله زیتون، غلظت 150 ppm دارای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و موثرترین سطح غلظتی عصاره بر پایداری اکسایشی روغن سویا تعیین گردید. همچنین نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت بهینه 150 ppm عصاره، نسبت به آنتی‌اکسیدان‌های بوتیل‌هیدروکسی‌تولوئن (BHT) و بوتیل هیدروکسی آنیزول (BHA) فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری را دارا می‌باشد.

فعالیت آنتی‌اکسیدانی

نتایج شکل 7 نشان داد که در روز صفر هیچ کدام از تیمارها فعالیت آنتی‌اکسیدانی در روغن سویا نداشتند و با گذشت زمان اثر آنتی‌اکسیدانی خود را نشان دادند و فعالیت آنتی‌اکسیدانی روند افزایشی یافت. فعالیت آنتی اکسیدانی تیمار شاهد فاقد آنتی اکسیدان در تمام روزها صفر بود. کمترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمار نمک سلنیت سدیم در روز 23 بود. بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی مربوط به تیمارهای Opt1 و Opt2 در روز 46 بود که اختلاف معنی‌دار نداشتند و پس از آن BHA بود که اختلاف معنی‌دار با دو تیمار مذکور داشت. تیمارهای Opt1 و Opt2 از نظر حفظ اثر آنتی‌اکسیدانی قوی‌تر ازBHA عمل کردند در نتیجه دو تیمار مذکور می‌توانند به‌عنوان جایگزین مناسب برای BHA باشند.

اثر سلنیوم بر افزایش فعالیت آنتی¬اکسیدانی برگ¬های چای برداشت شده در اوایل بهار نشان داد که پاشیدن سلنیوم بر روی برگ چای، باعث افزایش فعالیت آنتی‌اکسیدانی چای شد (Xu *et al.*, 2003). به‌منظور تعیین فعالیت آنتی‌اکسیدانی عصاره برگ چای غنی شده با سلنیوم و مقایسه آن با BHT، آزمون DPPH انجام شد.



شکل 6- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان عدد توتوکس روغن سویا

تیمار Opt_1: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt_2: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na_2SeO_3) : نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

بالاترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی به‌ترتیب مربوط به عصاره برگ چای غنی شده با سلنات، عصاره برگ چای غنی شده با سلنیت، BHT و چای معمولی بود. موجرلو و همکاران (2015) در طی پژوهشی با اتانول از کنجاله زیتون عصاره‌گیری کرده و ترکیبات فنولی کل موجود در عصاره را تعیین کردند. سپس اثرات آنتی‌اکسیدانی عصاره کنجاله زیتون در غلظت‌های مختلف و BHT و BHA با غلظت 75 ppm، بر پایداری اکسایشی روغن سویا را بررسی کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که غلظت بهینه 150 ppm عصاره دارای بیشترین فعالیت آنتی‌اکسیدانی بوده و نسبت به BHT و BHA فعالیت آنتی‌اکسیدانی بیشتری را دارا می‌باشد.

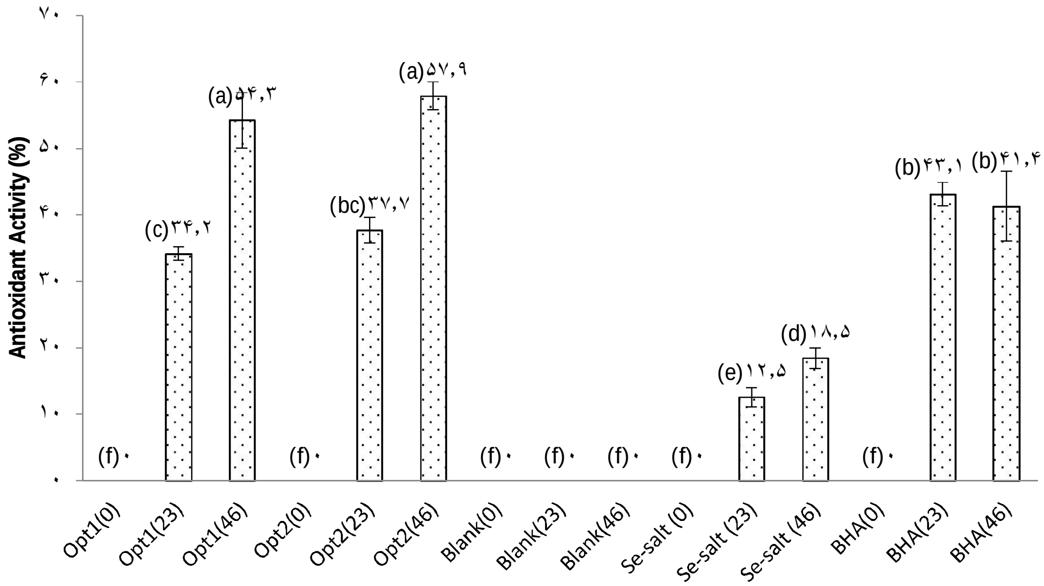
نتیجه‌گیری

کارایی کپسولاسیون تحت تاثیر غلظت ماده دیواره و هسته قرار گرفت. به این صورت که هرچه غلظت صمغ عربی بیشتر، غلظت صمغ فارسی کمتر و غلظت سلنیت سدیم کمتر شد راندمان افزایش و سایز میکروکپسول‌ها کاهش یافت. Opt2 (صمغ عربی 28%، صمغ فارسی 2%، سلنیت سدیم 109میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول) کارایی بالاتر و سایز کوچک‌تر نسبت به Opt1 (صمغ عربی 27%، صمغ فارسی 3%، سلنیت سدیم 135میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول) از خود نشان داد. استفاده از تکنیک کپسولاسیون با هدف محافظت از آنتی‌اکسیدان انجام گرفت و منجر به افزایش توان ضداکسایشی آن شد و همچنین با رهایش کنترل‌شده سلنیت‌سدیم از کپسول به درون روغن، باعث افزایش پایداری اکسیداتیو روغن طی مدت زمان نگهداری شد. در حضور آنتی‌اکسیدان‌های سلنیت سدیم کپسوله‌شده و بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول در روغن سویا، عدد پراکسید، اسیدیته، تیوباربیتوریک اسید، آنیزیدین و توتوکس کاهش و فعالیت آنتی‌اکسیدانی افزایش یافت. از نظر خواص آنتی‌اکسیدانی ترتیب اهمیت تیمارهای این تحقیق عبارت است از:

سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه2)> سلنیت سدیم کپسوله شده (بهینه 1)≤ آنتی‌اکسیدان بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول> نمک سلنیت سدیم> شاهد فاقد آنتی‌اکسیدان

لذا در مجموع تیمارهای بهینه سلنیت سدیم کپسوله شده 1 و 2 می‌توانند به‌عنوان آنتی‌اکسیدان غیرسنتزی جایگزین آنتی‌اکسیدان

سنتزی بوتیل‌هیدروکسی‌آنیزول در روغن سویا گردند.



شکل 7- اثر متقابل تیمار- زمان بر میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی روغن سویا

تیمار Opt_1: 27% صمغ عربی، 3% صمغ فارسی، 135 میلی‌گرم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (390 پی‌پی‌ام کپسول معادل 8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن)

تیمار Opt_2: 28% صمغ عربی، 2% صمغ فارسی، 109 میلی‌گرم سلنیت سدیم در 20 میلی‌لیتر محلول اسپری شونده (480 پی‌پی‌ام کپسول معادل8/6 پی‌پی‌ام نمک سلنیت سدیم یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان)

Blank (Antioxidant free): روغن سویای خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار Se-salt (Na_2SeO_3) : نمک سلنیت سدیم با غلظت 8/6 پی‌پی‌ام یا 3/92 پی‌پی‌ام سلنیوم در روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

تیمار BHA: آنتی اکسیدان سنتزی بوتیل هیدروکسی آنیزول با غلظت 200 پی‌پی‌ام اضافه شده به روغن خام و فاقد آنتی‌اکسیدان

منابع

آهنگران ف، حیاتی م، نوارچیان ا، اسماعیل پور ک. 1394. مروری بر روش های کپسوله کردن مواد و بررسی ریزکپسول های با دیواره پلی متیل متاکریلات. نشریه مهندسی شیمی ایران. سال پانزدهم، شماره 86.

استاندارد ملی ایران، 4179. 1377، روغن ها و چربی های خوراکی، اندازه گیری عدد پراکسید.

جعفرپورع، اصفهانی ر، جعفری م. 1396. بررسی نانو ریزپوشانی اسید چرب امگا 3 به وسیله ژلاتین ماهی و صمغ عربی با استفاده از روش کوسرواسیون. مجله علمی شیلات ایران، سال25،شماره1.

حسین زاده س، حداد خداپرست م، بستان آ، محبی م. 1395. ریزپوشانی روغن نعناع (*Menthaspicata*) به روش خشک کردن پاششی. نشریه پژوهش های علوم و صنایع غذایی ایران. جلد 12، شماره 4، ص 511-499.

رضوی زاده بی بی م، پورمیرزا ع الف، عزیزی س ن. 1393 مقایسه ویژگی های ریزکپسول های روغن سبوس برنج تهیه شده با خشک کن پاششی و خشک‌کن انجمادی. نشریه پژوهش و نوآوری در علوم و صنایع غذایی. سال ، جلد 3، شماره 2، صفحات114-97.

شهسواری، ن.، سحری، م.ع. و برزگر، م.، 1387، بررسی اثر آنتی‌اکسیدانی اسانس‌های آویشن شیرازی و زیره کوهی در روغن سویا، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.

فدوی، ا. و کوهساری، ه.، 1394، اثرات ضداکسایندگی و ضدمیکروبی عصاره برگ درخت پرتقال کشت شده در ایران و بررسی پایداری اکسیداسیون روغن سویا غنی‌سازی شده با آن، فصل‌نامه فناوری‌های نوین غذایی، ۷،۹۶-85.

فرحناکی ع، مصباحی غ. 1387. خصوصیات و کاربردهای هیدروکلوئیدها در مواد غذایی و دارویی، تهران: نشر علم کشاورزی ایران، ص 24-1.

قنبری، ر.، قوامی، م. و صفافر، ح.، 1385، بررسی امکان تولید آنتی اکسیدان طبیعی از گیاه مریم گلی و تاثیر آن در افزایش زمان ماندگاری روغن دنبه، کانولا، پنبه دانه، مجله علوم غذایی و تغذیه، سال سوم، شماره 3، ص 26-18.

موجرلو، ز.، الهامی راد، ا.ح. و نجفی، ع.، 1394 ، مطالعه اثر آنتی‌اکسیدانی عصاره‌ی اتان.لی کنجاله زیتون بر پایداری اکسایشی روغن سویا در مقایسه با برخی آنتی‌اکسیدان‌های شیمیایی، نشریه نوآوری در علوم و فناوری غذایی، 3، 23-15.

میرنظامی ضیابری، س. ح.، 1388، فناوری روغن و پالایش آن، انتشارات علم کشاورزی ایران، صفحه 464.

Afkhami R, Goli M, Keramat J. 2017. Functional orange juice enriched with encapsulated polyphenolic extract of lime waste and hesperidin. *International Journal of Food Science & Technology*.

Akdeniz, B., Sumnu, G. & Sahin, S., 2017, The effect of maltodextrin and gum Arabic on
onion skin phenolic compouds, *Chemical Engineering Transactions*, 57, 1891-1896.

Ali B H, Zaida A, Blunden G. 2009. Biological effects of gum arabic: a review of some recent research. *Food and Chemical Toxicology*, 47:(1), 1-8.

Carneiro H C F, Tonon RV, Grosso C R F, Hubinger M D. 2013. Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combination of wall materials. *Journal of FoodEngineering*, 115:(4), 443-451.

Choi MJ, Ruktanonchai U, Min SG, Chun JY, Soottitantawat A. 2010. Physical characteristics of fish oil encapsulated by β-cyclodextrin using an aggregation method or polycaprolactone using an emulsion–diffusion method. *Food chemistry*. 119, 1694-1703.

Cilek B, Sahin S, Sumnu G, Luca A, Hasirci V. 2012. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace : effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *European Food Research and Technology*, 235, 587–596.

Click B, Luca A, Hasirci V, Sahin S, Sumnu G. 2012. Microencapsulation of phenolic compounds extracted from sour cherry pomace: effect of formulation, ultrasonication time and core to coating ratio. *Eur Food Res Technol*. 235:587-596.

Combs, G.F,. 2000, Food system-based approaches to improving micronutrient nutrition: the case for selenium Biofactors, 12, 39-43.

Chang, S., Bassiri, A. & Jalali, H., 2018, Evaluation of antioxidant activity of fennel (*Foeniculum vulgare*) seed extract on oxidative stability of olive oil, *Journal of Chemical health risks*, 3, 2.

Fang, Z. & Bhandari, B., 2010, Encapsulation of polyphenols–a review. Trends in Food Science & Technology, 21, 10, 510-523.

Firestone, D., 1994, Official methods and recommended practices of the American oil chemists' society, 4th ed., AOCS Press, Champaign, IL.

Frascareli E, Silvaa V, Tonona R, Hubingera M. 2012. Effect of process conditions on the microencapsulation of coffee oil by spray drying.*Food and Bioproducts Processing*, 90: 413-424

Gabas A L, Telis VR N, Sobral P J A, Telis J R. 2007. Effect of maltodextrin and arabic gum in water vapor sorption thermodynamic properties of vacuum dried pineapple pulp powder. *Journal of Food Engineering*, 82(2): 246-252.

Glicksman M. 1969. Gim technology in the food industry. Academic Press, New York, chapter 4, 94-129.

Gupta, C., Chawla, P., Arora, S., Tomar, S.K. & Singh, A.K., 2015, Iron microencapsulation with blend of gum arabic, maltodextrin and modified starch using modified solvent evaporation method–Milk fortification, *Food Hydrocolloids*, 43, 622-628.

Halliwell, B., Aeschbach, R., Loliger, J. & Arouma, O.I., 1995, The characterization of antioxidants, *Food Chemistry and Toxicology*, 33, 7, 601-617.

Kanakdande D, Bhosale R, Singhal RS. 2007. Stability of cumin oleoresin microencapsulated in different combination of gum arabic, maltodextrin andmodified starch. *Carbohydrate Polymers*, 67(4): 536-541.

Kohrle, J., Jakob, F., Contempre, B. & Dumont, J.E., 2005, Selenium, the thyroid, and the endocrine system, *Endocr Review*, 26, 7, 944-84.

Krishnan S, Bhosale R, Singhal R S. 2005. Microencapsulation of cardamomoleoresin: evaluation of blends of gum arabic, maltodextrin and a modifiedstarch as wall materials. *Carbohydrate Polymers*, 61(1): 95-102.

Lafka, T.I., Sinanoglou, V. & Lazos, E.S., 2007, The extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from winery wastes, Food Chemistry, 104, 3, 1206-1214.

Lin, C.C., Wu, S.J., Chang, C.H. & Ng, L.T., 2003. Antioxidant activity of Cinnamomum cassia, *Phytotherapy Research*, 17, 7, 726-730.

Lindenschmidt, R.C., Trika, A.F., Guard, M.E. & Witschi, H.P., 1986. The effect dietary butylated hydroxyl toluene on liver and colon tumor development in mice, *Toxicology*, 38, 2, 151-160.

Madene A, Jacquot M, Scher J, Desobry S. 2006. Review Flavour encapsulation and controlled release – a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 41, 1–21.

Mcnamee BF, O'Riordan E D, O'Sullivan M. 1998. Emulsification and Microencapsulation Properties of Gum Arabic. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46, 4551–4555.

Mohdaly, A.A., Smetanska, I., Ramadan, M.F., Sarhan, M.A. & Mahmoud, A., 2011. Antioxidant potential of sesame (*Sesamum indicum*) cake extract in stabilization of sunflower and soybean oils, Industrial Crops and Products, 34, 1, 952-959.

Mustacich, D. & Powis, G., 2000. Thioredoxin reductase, *Biochemistry Journal*, 346, 1-8.

Nedovic, V., Kalusevic, A., Manojlovic, V., Levic, S. & Bugarski, B., 2011. An overview of encapsulation technologies for food applications, *Food Science*, 1, 1806-1815

Rahman, Z., Habib, F. & Shah, W., 2004, Utilization of potato peels as a natural antioxidant in soybean oil, Journal of *Food Chemistry*, 85, 215-220.

Rayman, M. P., 2000, The importance of selenium to human health, *The Lancet*, 356, 9225, 233-241.

Sanchez-Moreno, C., Larrauri, J.A. & Saura-Calixto, F., 1999, Free radical scavenging capacity and inhibition of lipid oxidantion of wines, grape juices and related polyphenolic constituents, Food Research International, 32, 6, 407-412.

Righetto A M, Netto F M. 2005. Effect of encapsulating materials on watersorption, glass transition and stability of juice from immature acerola. *InternationalJournal of Food Properties*, 8(2), 337-346.

Sarkar S, Gupta S, Variyar S P, Sharma A, Singhal R S. 2013. Hydrophobic derivatives of guar gum hydrolyzate and gum arabic as matrics for microencapsulation of mint oil. *Carbohydrate Polymers*, 95(1), 177-182.

Shahidi, F. & Zhong, Y., 2005, Lipid Oxidation: Measurement Methods, Bailey’s Industrial Oil and Fat Products, 6th Ed., Six Volume Set, Memorial University of Newfoundland, Canada

Shahidi, F. & Ying, Z., 2005, Antioxidants: regulatory status, Bailey's industrial oil and fat products.

Simas Tosin FF, Barraza RR, Petkowicz CLO, Silveira JLM, Sassaki GL, Santos EMR, Gorin PAJ, Iacomini M. 2010. Rheological and structural characteristics of peach tree gum exudates. *Food Hydrocolloid*, 24: 486–493.

Sultana, B., Anwar, F. & Przybylski, R., 2007, Antioxidant potential of corncob extracts for stabilization of corn oil subjected to microwave heating, *Food chemistry*, 104, 3, 997-1005.

Suja, K.P., Abraham, J.T., Thamizh, S.N., Jayalekshmy, A. & Arumughan, C., 2004, Antioxidant efficacy of sesame cake extract in vegetable oil protection, *Food Chemistry*, 84, 3, 393-400.

Tombs M P, Harding S E. 1998. An introduction to polysaccharide. InBiotechnology (pp. 88e89). Gunpowder Square, London: Taylor and Francis Ltd.

Tompkins, C. & Perkins, E.G., 1999, The evaluation of frying oils with the p-anisidine value, *Journal of the American Oil Chemists Society*, 76, 945-947.

Wanasundara, P.K.J.P.D. & Shahidi, F., 2005, Antioxidants: science, technology, and applications. Bailey's industrial oil and fat products.

Xu, J., Yang, F., Chen, L., Hu, Y. & Hu, Q., 2003, Effect of selenium on increasing the antioxidant activity of tea leaves harvested during the early spring tea producing season, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 4, 1081-1084.

Chan, K.M., De Cker, E.A. & Means, W.J., 1993, Extraction and activity of carnosine, a naturally occurring antioxidant in beef muscle, *Journal of Food Science*, 58, 1, 1-4.

Namiki, M., 1990, Antioxidants/ antimutagens in food, Critical Reviews in Food Science & Nutrition, 29, 4, 273-300.

Vaidya S, Bhosale R, Singhal R S. 2006. Microencapsulation of cinnamonoleoresin by spray drying using different wall materials. *Drying Technology: AnInternational Journal*, 24(8): 983-992.

Velioglu, Y.S., Mazza, G., Gao, L. & Oomah, B.D., 1998, Antioxidant activity and total phenolics in selected fruits, vegetables, and grain products, *Journal of agricultural and food chemistry*, 46, 10, 4113-4117.

Wardhanabhuti B, Ikeda S. 2006. Isolation and characterization of hydrocolloids from monoi (*Cissampelos pareira*) leaves. *Food Hydrocolloids*, 20, 885-891.

Whistler R L. 1993. Exudate gums. In R. L., Whistler and J. N., Bemiller (Eds.), Industrial gums, polysaccharides and their derivatives (3rd ed.), Academic Press, Inc., London, chapter 12, 309-339.

Yang D Z, Hrymak A N, Kamal M R. 2011. "Crystal morphology of hydrogenated castor oil in the crystallization of oil-in-water emulsions: Part II. Effect of Shear", *Industrial & Engineering Chemistry Research*, Vol. 50, pp. 11594–11600.

Zilberboim R, Kopelman I J, Talmon Y. 1986. Microencapsulation by adehydrating liquid: retention of paprika oleoresin and aromatic esters. *Journalof Food science*, 51(5): 1301-1306.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 16, No. 5, Dec- Jan 2021, p. 669-685

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 16، شماره 5، آذر - دی 1399، ص. 685-669

Study on the antioxidant effect of microencapsulated sodium selenite by solvent evaporation during one-year soybean oil storage

F. Jalali-zand[1], M. Goli[*2]

Received: 2019.09.03
Accepted: 2019.10.26

Introduction: Microencapsulation is represented as a technology of packaging solids, liquids, or gaseous materials in miniature sealed capsules that can release their contents at controlled speeds under specific conditions. The packaged materials can be pure materials or a mix, which are also called coated material, core material, actives, internal phase (Fang & Bhandari, 2010). Selenium is a micronutrient essential element for human health, which is toxic in high concentrations. Selenium is a component of selenoproteins that plays an enzymatic and structural roles in human biochemistry. Selenium is known as an antioxidant and catalyzer for active thyroid hormone production. The aim of this study was to optimize the microencapsulation of sodium selenite (100-900 mg per 20 mL final spray solution) using a combination of Arabic gum (25-29% per 20 mL final spray solution) and Persian gum (1-5% per 20 mL final spray solution) as capsule wall applying modified solvent evaporation method to produce microcapsules with the highest encapsulation efficiency (EE) and the smallest possible particle size using the response surface method (RSM) with central composite design ($\alpha = 2$ with 6 central points and 2 repetition in axial and factorial points).

Materials and Methods: In this research, production of encapsulated sodium selenite at different concentration (100, 300, 500, 700 and 900 mg/20 cc) with Arabic gum (25%, 26%, 27%, 28% and 29%) and Analogous Farsi gum (5%, 4%, 3%, 2% and 1%) as wall materials by solvent evaporation method was studied. The optimization of microcapsules based on the highest encapsulation efficiency and smallest microcapsules size was studied using RSM. Based on the mentioned parameters, 2 optimum conditions were chosen. The first one was a condition where the samples produced with 135 mg sodium selenite in 20 ml sprayed solution, 27% and 3% Arabic and Farsi gum, respectively. In this condition the encapsulation efficiency was 79.63% whereas the microcapsules size was 49.98 µm. The second condition was followed by producing samples with 109 mg sodium selenite in 20 ml sprayed solution, 28% and 2% Arabic and Farsi gum with result of 95.10% encapsulation efficiency and the size of 46.71 µm. Finally 390 ppm capsules of the first condition and 480 ppm capsules of second condition (equal to 8.6 ppm sodium selenite salt), synthesized BHA (200 ppm) and sodium selenite salt (8.6 ppm) were added to a free anti-oxidant soybean oil and were kept at 55°C at 0, 23 and 46 days which was equal with 20°C at 0, 180 and 360 days. In this condition, peroxide value, acidity, Thiobarbituric acid, Anisidine value, Totox value and anti-oxidant activity of free anti-oxidant soybean oil were evaluated using SPSS software.

Results & Discussion: The results achieved by RSM showed that sodium selenite concentration had reverse relation on encapsulation efficiency whereas there was direct relation with Arabic and Farsi gum concentration. Also the size of microcapsules with had direct relation on sodium selenite concentration whereas Arabic and Farsi gum concentration had reverse relation. The result of SPSS analyses showed that with presence of the encapsulated sodium selenite anti-oxidant and synthesized BHA anti-oxidant in soybean oil, peroxide value, acidity, Thiobarbituric acid, Anisidine value, Totox value decreased whereas anti-oxidant activity of soybean oil increased. Based on anti-oxidant characteristics in soybean oil, recommended treatments in this research are: condition 2 > condition 1 ≥ BHA > sodium selenite salt > control sample without anti-oxidant. The results of this study recommend the incorporation of encapsulated sodium selenite (condition 1 and 2) for increasing the shelf life of soybean oil as an alternative to synthesized BHA.

Keywords: Microencapsulation, Arabic gum, Farsi gum, Sodium selenite, Antioxidant activity, Soybean oil

1. MSc, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Food Science and Technology, Isfahan (Khorasgan) Branch, Islamic Azad University, Isfahan, Iran
(*Corresponding author: mgolifood@yahoo.com)